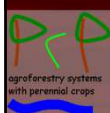


## Factores biológicos, ambientales y de manejo que afectan el desarrollo de la roya



Jacques Avelino, CIRAD / IICA-PROMECAFE / CATIE

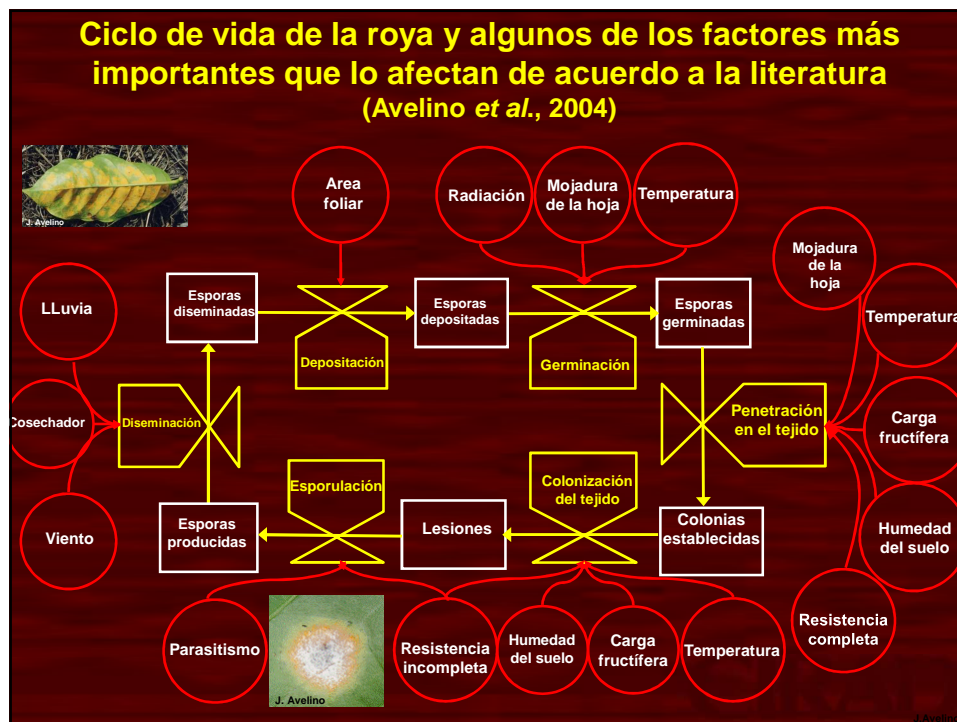
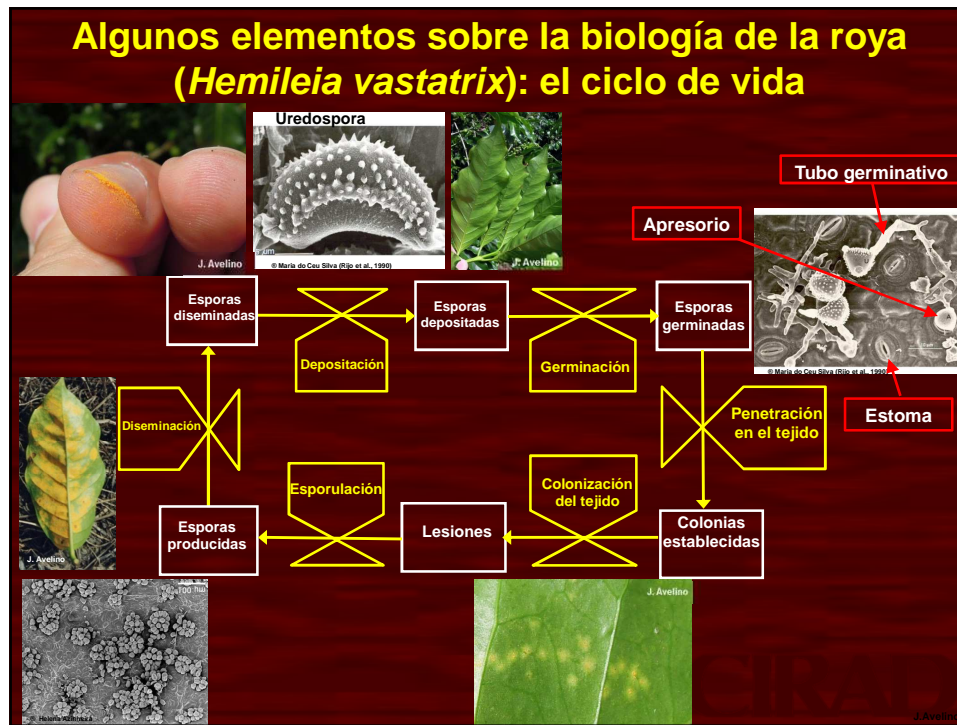
[jacques.avelino@cirad.fr](mailto:jacques.avelino@cirad.fr)

J. Avelino

## Factores biológicos, ambientales y de manejo que afectan el desarrollo de la roya

- Algunos elementos sobre su biología
- Epidemiología
  - A escala de la planta y de la parcela
    - Inóculo inicial
    - Carga fructífera
    - Altitud, pluviometría, periodo de cosecha
    - Sombra, carga fructífera
    - Integración de estos elementos
  - A escala del paisaje
  - Cómo integrar estos conocimientos en un sistema de alerta?

J. Avelino



## Algunos elementos sobre la biología de la roya (*Hemileia vastatrix*)

- La uredospora: la entidad infecciosa
- Parásito obligado (biótrofo): no sobrevive sin su hospedero, el café
- Factores que afectan el ciclo: biofísicos (humedad, temperatura, viento), hospedero (carga fructífera, área foliar, resistencia), biológicos (*Lecanicillium lecanii*), personas, patógeno (razas)

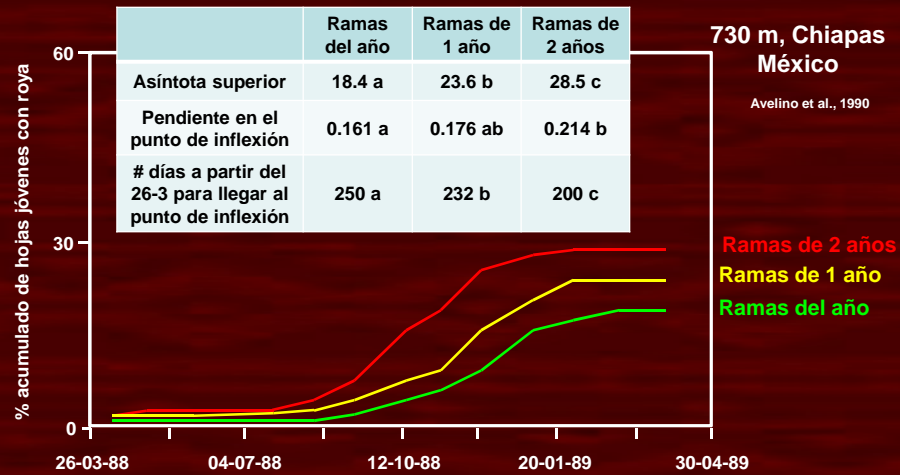
J. Avelino

## El tetraedro de la enfermedad (Zadoks and Schein, 1979)



J. Avelino

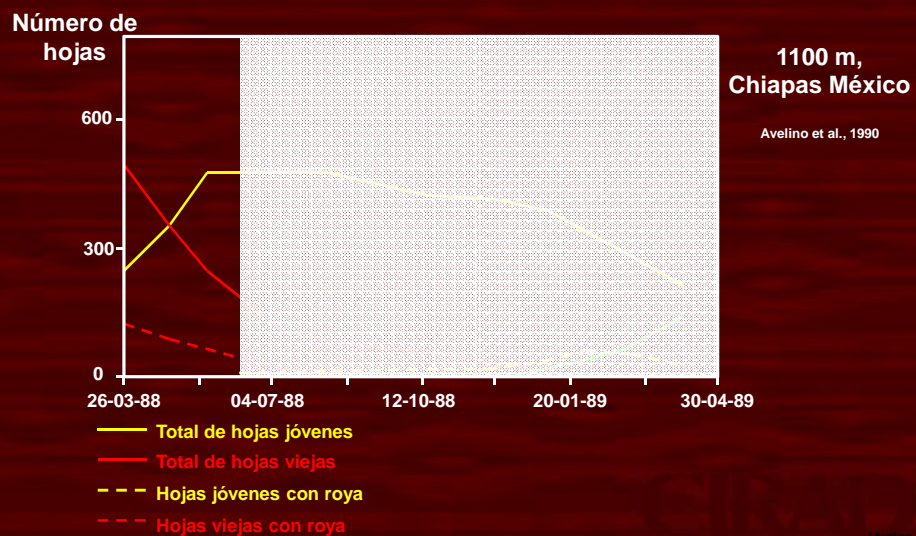
## Desarrollo a escala de la planta



La roya se desarrolla en la planta desde abajo hacia arriba

J. Avelino

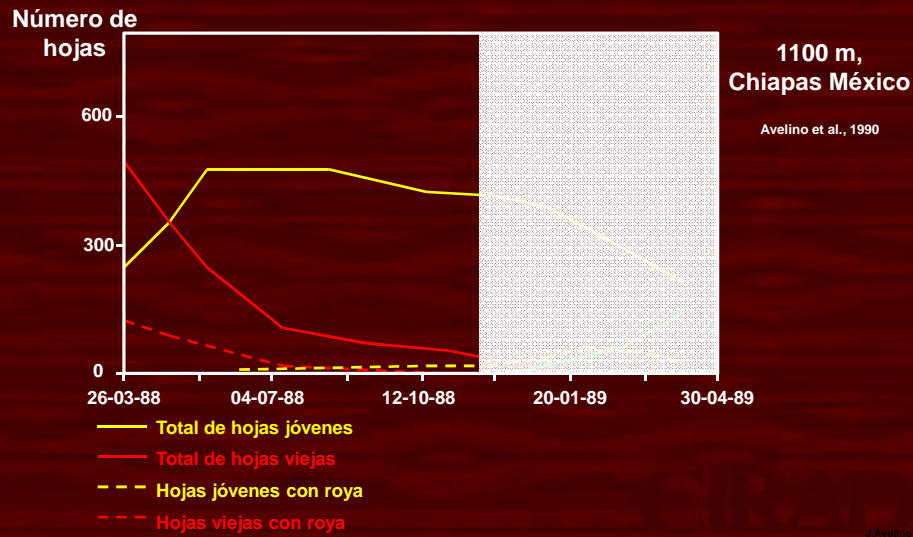
## Inóculo inicial Evolución de la masa foliar total y enferma por generación de hojas



J. Avelino

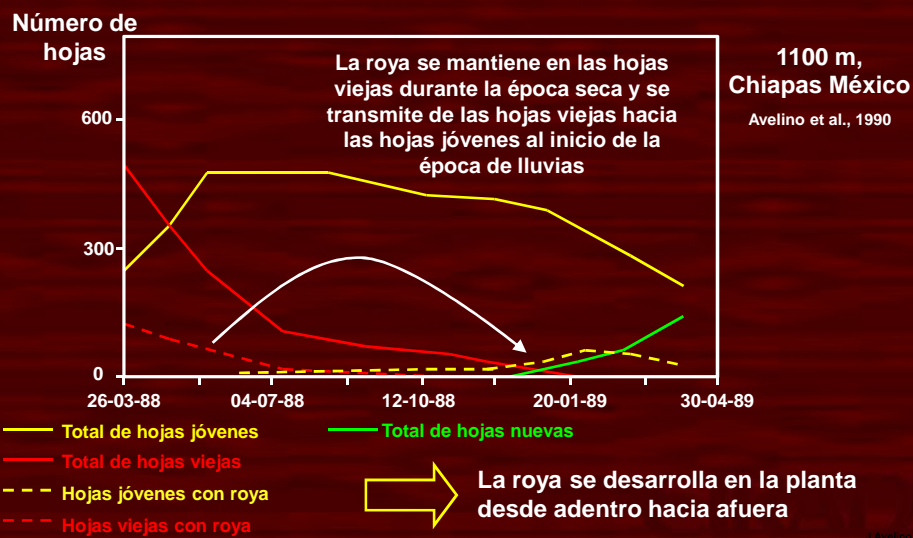
## Inóculo inicial

### Evolución de la masa foliar total y enferma por generación de hojas



## Inóculo inicial

### Evolución de la masa foliar total y enferma por generación de hojas





## Inóculo inicial

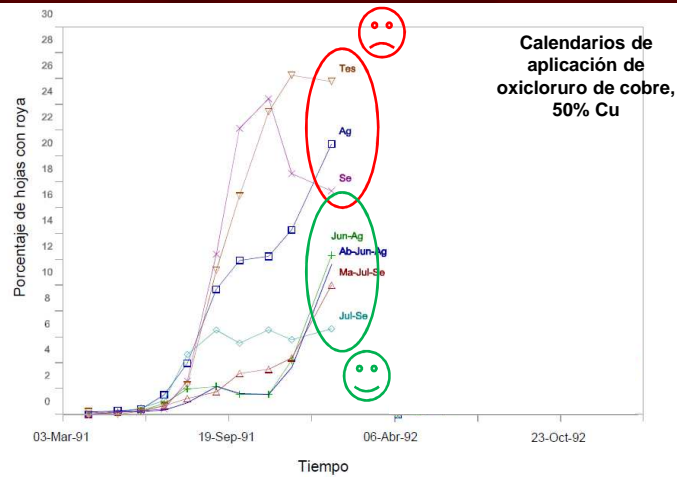


FIGURA 1: EFECTO DE LOS CALENDARIOS DE APLICACION SOBRE LA EVOLUCION DEL PORCENTAJE DE HOJAS JOVENES CON ROYA ANARANJADA; FINCA "LA LIBERTAD", COLOMBA, QUETZALTENANGO; AÑOS 1991 Y 1992; 740 m

Avelino et al., 1995

J. Avelino

## Inóculo inicial

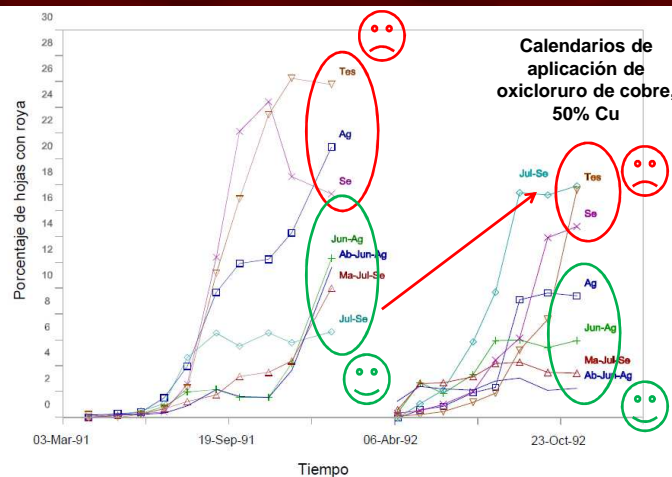


FIGURA 1: EFECTO DE LOS CALENDARIOS DE APLICACION SOBRE LA EVOLUCION DEL PORCENTAJE DE HOJAS JOVENES CON ROYA ANARANJADA; FINCA "LA LIBERTAD", COLOMBA, QUETZALTENANGO; AÑOS 1991 Y 1992; 740 m

Avelino et al., 1995

J. Avelino

El mejor control del primer año fue el peor el segundo

## Inóculo inicial

En el segundo año, desarrollo más precoz en las parcelas que tuvieron fungicidas en el primer año

CUADRO 5: EFECTO DE LOS CALENDARIOS DE APLICACION DE OXIDO DE COBRE SOBRE LA ROYA ANARANJADA DURANTE 2 PERIODOS DE 1992

PORCENTAJE ACUMULADO DE HOJAS JOVENES CON ROYA ANARANJADA								
DE ABRIL 1992 A AGOSTO 1992			DE SEPTIEMBRE 1992 A NOVIEMBRE 1992			DE ABRIL 1992 A NOVIEMBRE 1992		
JS <sup>1</sup>	12.1	a <sup>2</sup>	T	15.9	a	JS	25.0	a
JA	7.3	ab	S	14.2	a	S	19.1	ab
MJS	5.5	ab	JS	12.9	a	T	18.1	ab
S	4.9	ab	A	11.3	a	A	14.6	ab
AJA	4.0	ab	JA	4.1	b	JA	11.4	ab
A	3.3	ab	MJS	2.9	b	MJS	8.4	ab
T	2.2	b	AJA	1.2	b	AJA	5.2	b

<sup>1</sup> T: Testigo, MJS: Mayo-Julio-Septiembre, JS: Julio-Septiembre, S: Septiembre, AJA: Abril-Junio-Agosto, JA: Junio-Agosto, A: Agosto

<sup>2</sup> Los datos de una misma columna seguidos de la misma letra no son diferentes significativamente al nivel de 5% según la prueba de Newman-Keuls

Julio-Septiembre fue el peor de los tratamientos, porque la primera aplicación llegó después del arranque de la epidemia

Avelino et al., 1995

J. Avelino

## Inóculo inicial

Entre 3 y 5 veces la cantidad de hojas viejas enfermas (inóculo inicial) del Testigo sin control (conservaron las hojas enfermas)

CUADRO 6: EFECTO DE LOS CALENDARIOS DE APLICACION DE OXIDO DE COBRE SOBRE LA CANTIDAD DE INOCULO PRIMARIO A PRINCIPIOS DE 1992

PORCENTAJE ACUMULADO DE HOJAS VIEJAS CON ROYA ANARANJADA DE ABRIL 1992 A MAYO 1992			NUMERO DE HOJAS VIEJAS CON ROYA ANARANJADA POR BANDOLA DE ABRIL 1992 A MAYO 1992		
AJA <sup>1</sup>	26.7	a <sup>2</sup>	AJA	1.5	a
A	26.7	a	A	1.4	a
MJS	23.5	a	MJS	1.3	a
JA	20.7	a	JA	1.2	a
S	16.3	ab	JS	0.9	ab
JS	14.2	ab	S	0.8	ab
T	8.7	b	T	0.3	b

<sup>1</sup> T: Testigo, MJS: Mayo-Julio-Septiembre, JS: Julio-Septiembre, S: Septiembre, AJA: Abril-Junio-Agosto, JA: Junio-Agosto, A: Agosto

<sup>2</sup> Los datos de una misma columna seguidos de la misma letra no son diferentes significativamente al nivel de 5% según la prueba de Newman-Keuls

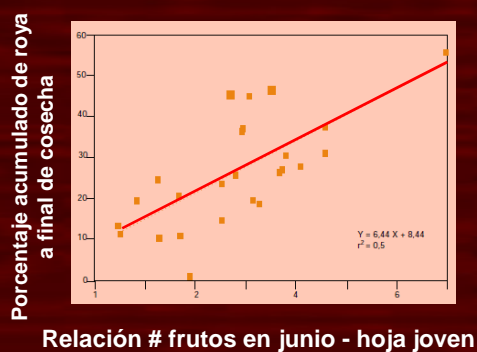
A mayor cantidad de inóculo inicial, mayor precocidad de la epidemia (no significa mayor ataque, la intensidad del ataque depende de los factores que afectan la repetición del ciclo)

## Inóculo inicial

- Presente en las hojas del año anterior (hojas viejas)
- Responsable de la precocidad de la epidemia, no de la intensidad, en las hojas jóvenes

CIRAD  
J. Avelino

## Efecto de la carga fructífera sobre el progreso de la epidemia

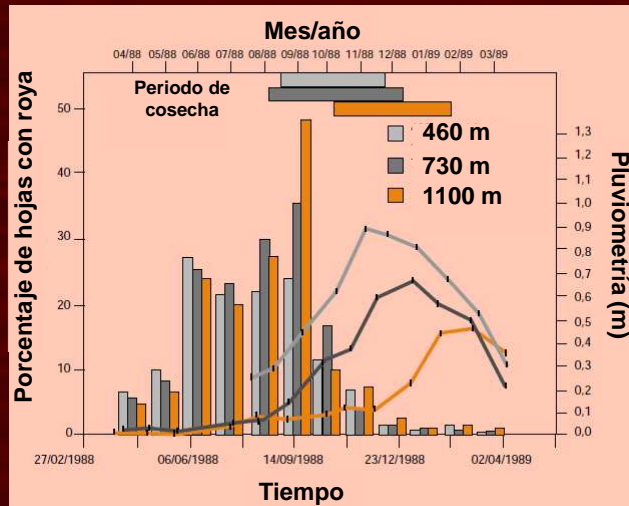


Avelino et al., 2002, modificado de Avelino et al., 1993  
Datos de la finca La Libertad, Guatemala, 1990

CIRAD  
J. Avelino



## Efecto de la altitud, pluviometría y periodo de cosecha sobre el progreso de la epidemia



Más roya a menor altura

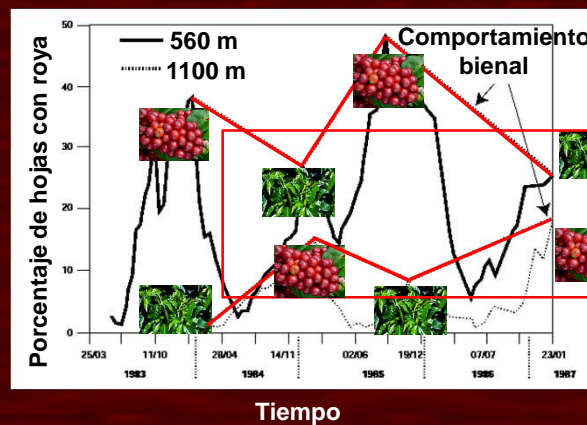
Más lluvia no significa necesariamente más roya (lavado)

Pico de roya hacia el final de la cosecha, puede ser en época seca

Avelino et al., 2002, modificado de Avelino et al., 1990 (Chiapas, México)

## Epidemiología

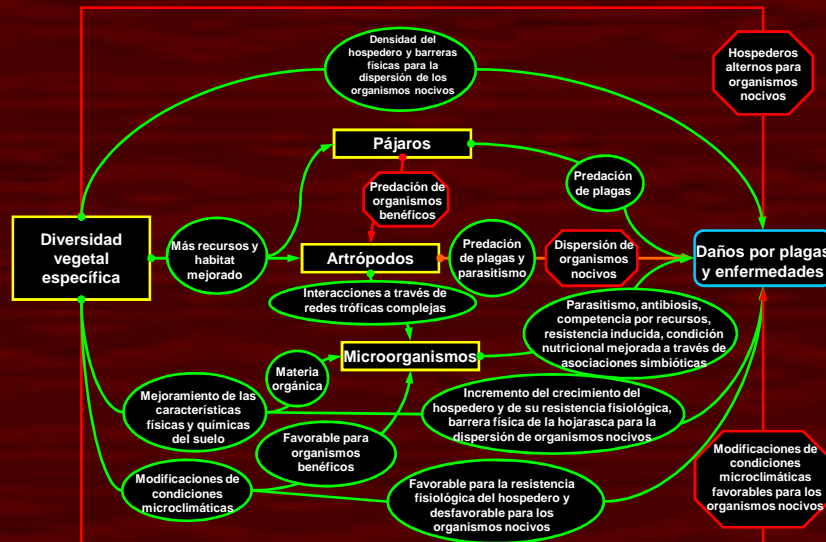
### Efecto de la carga fructífera y de la altitud sobre el progreso de la epidemia



Ataques de roya similares en altitudes diferentes explicados por la carga fructífera

Avelino et al., 2002, modificado de Holguín 1987 (Chiapas, México)

## Efectos de la biodiversidad vegetal específica sobre las plagas y enfermedades del café y cacao (Avelino et al., 2011)



Vías de acción y efectos de la biodiversidad (rectángulos) sobre plagas y enfermedades del café y del cacao. A pesar de algunos efectos indeseables de la biodiversidad (óctógonos), el balance general parece favorecer el control de los organismos nocivos (óvalos).

## Efectos favorables de la biodiversidad vegetal específica sobre las plagas y enfermedades del café (Avelino et al., 2011)

Reducción de las densidades de siembra	<i>Meloidogyne exigua</i> <i>Pratylenchus coffeae</i> <i>Mycena citricolor</i>	Avelino et al., 2009 Avelino et al., 2007
	<i>Hypothenemus hampei</i> <i>Hemileia vastatrix</i>	Romero, 2010
Efectos de barrera	<i>Hypothenemus hampei</i>	Olivas, 2010
Modificaciones de microclima	<i>Cercospora coffeicola</i> <i>Hemileia vastatrix</i> <i>Phoma costaricensis</i> <i>Colletotricum kahawae</i>	Staver et al., 2001 Avelino et al., 2006 Muller et al., 2004 Mouen Bedimo et al., 2008
Predación por los pájaros	<i>Hypothenemus hampei</i>	Kellermann et al., 2008
Predación por las hormigas: <i>Azteca instabilis</i> <i>Solenopsis</i> spp.	<i>Hypothenemus hampei</i>	Perfecto and Vandermeer, 2006 Armbrrecht and Gallego, 2007
Parasitoides: <i>Cephalonomia stephanoderis</i> <i>Prorops nasuta</i> <i>Phymastichus coffea</i>	<i>Hypothenemus hampei</i>	Vega et al. 1999
Parasitismo por hongos: <i>Beauveria bassiana</i> <i>Lecanicillium lecanii</i>	<i>Hypothenemus hampei</i> <i>Hemileia vastatrix</i>	Vera-Montoya et al. 2007 Staver et al., 2001 Vandermeer et al., 2009
Micorrizas	<i>Meloidogyne exigua</i>	Vaast et al., 1998
Mejoramiento de las condiciones de suelo y nutrición	<i>Hemileia vastatrix</i> <i>Mycena citricolor</i> <i>Meloidogyne exigua</i>	Avelino et al., 2006 Avelino et al., 2007 Avelino et al., 2009

## Efectos desfavorables de la biodiversidad vegetal específica sobre las plagas y enfermedades del café (Avelino *et al.*, 2011)

Hospederos alternos	<i>Mycena citricolor</i> <i>Corticium koleroga</i> <i>Corticium salmonicolor</i> <i>Hypothenemus hampei</i> <i>Xylella fastidiosa</i>	Sequeira, 1958 Benchimol <i>et al.</i> , 2001 Roux and Coetzee, 2005 Damon, 2000 Li <i>et al.</i> , 2001
Modificaciones de microclima	<i>Hemileia vastatrix</i> <i>Mycena citricolor</i> <i>Corticium koleroga</i> <i>Corticium salmonicolor</i> <i>Hypothenemus hampei</i>	López, 2011; Avelino <i>et al.</i> , 2006 Avelino <i>et al.</i> , 2007 Schroth <i>et al.</i> 2000 Feliz Matos <i>et al.</i> 2004; Bosselman <i>et al.</i> , 2009; Sánchez, 2011
Predación de organismos benéficos por aves:	Arañas	Greenberg <i>et al.</i> , 2000



Los efectos de la sombra son complejos, pueden haber efectos antagónicos

J. Avelino

## Efectos de algunas prácticas culturales sobre factores del hospedero y del ambiente que afectan la roya (Avelino *et al.*, 2004)

Factores conocidos por afectar el ciclo de la roya	Prácticas culturales			
	Sombra	Altas densidades de siembra	Fertilización	Poda
LLuvia		La sombra intercepta la lluvia, incrementa el tamaño de las gotas y redistribuye el agua en la plantación (Imbach <i>et al.</i> , 1989; Jaramillo-Robledo and Chaves-Córdoba, 1998, 1999)		
Viento				
Area foliar				
Temperatura				
Rocío				
Radiación				
Humedad del suelo				
Carga fructífera				
<i>Lecanicillium lecanii</i>				



Efectos varios sobre la roya



Efectos desfavorables sobre la roya



Efectos favorables sobre la roya

J. Avelino

## Efectos de algunas prácticas culturales sobre factores del hospedero y del ambiente que afectan la roya (Avelino et al., 2004)

Factores conocidos por afectar el ciclo de la roya	Prácticas culturales			
	Sombra	Altas densidades de siembra	Fertilización	Poda
LLuvia	●			
Viento	●	La sombra protege los cafetos del viento (Jaramillo-Robledo and Gómez-Gómez, 1989)		
Area foliar				
Temperatura				
Rocío				●
Radiación				●
Humedad del suelo				●
Carga fructífera				
<i>Lecanicillium lecanii</i>				



J. Avelino

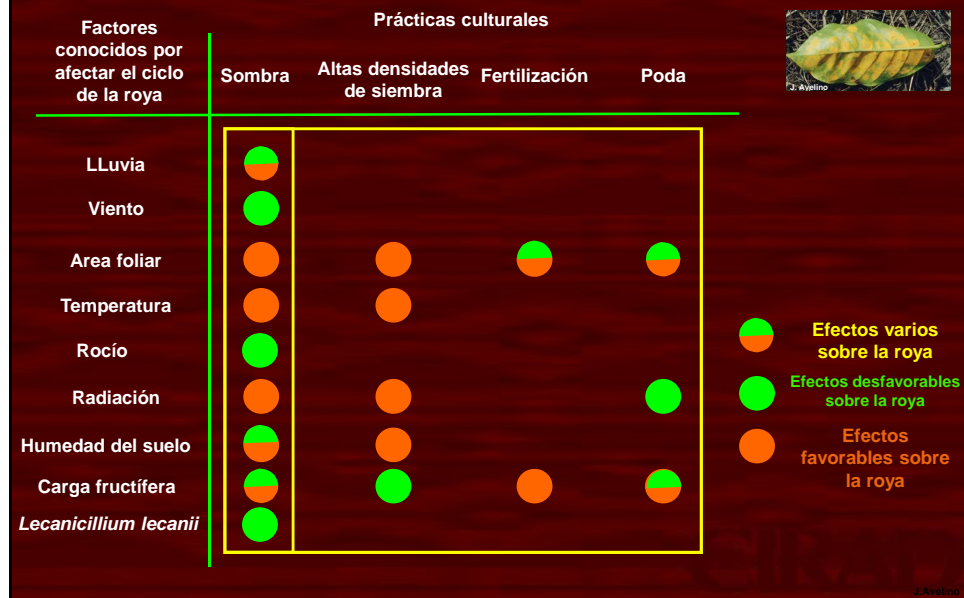
## Efectos de algunas prácticas culturales sobre factores del hospedero y del ambiente que afectan la roya (Avelino et al., 2004)

Factores conocidos por afectar el ciclo de la roya	Prácticas culturales			
	Sombra	Altas densidades de siembra	Fertilización	Poda
LLuvia	●			
Viento	●	La sombra tiende a reducir el número de hojas por cafeto, pero incrementa su tamaño y la LAI o IAF. La longevidad de las hojas se incrementa (Boyer, 1968 ; Maestri and Barros, 1977 ; Fahl et al., 1994)		
Area foliar	●			
Temperatura				
Rocío				●
Radiación				●
Humedad del suelo				●
Carga fructífera				
<i>Lecanicillium lecanii</i>				

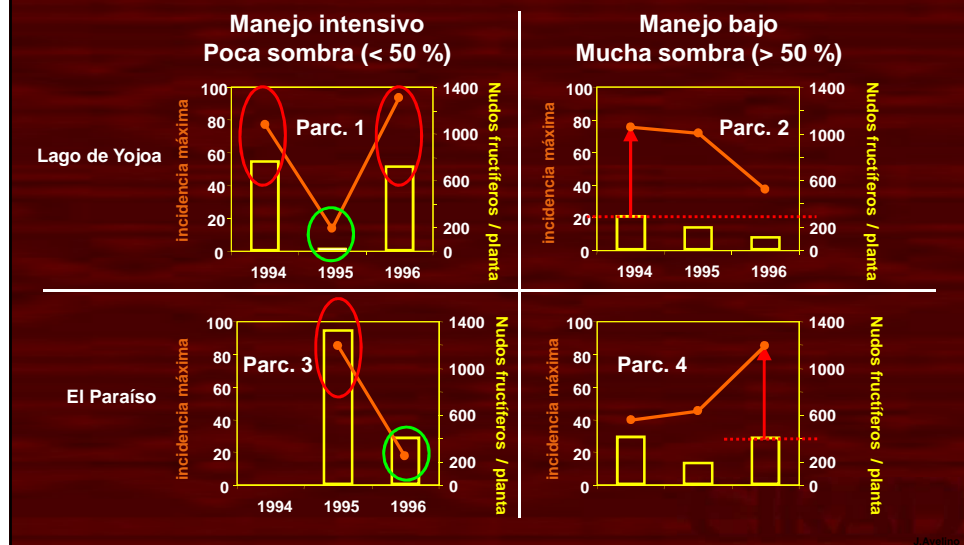


J. Avelino

## Efectos de algunas prácticas culturales sobre factores del hospedero y del ambiente que afectan la roya (Avelino et al., 2004)

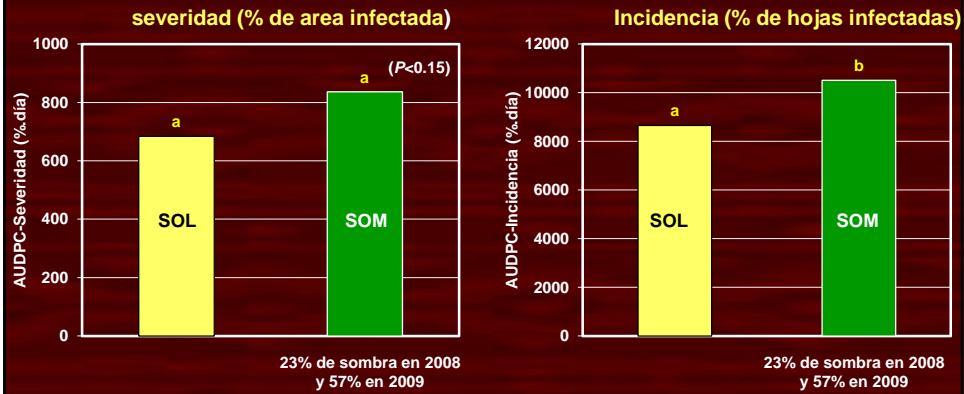


## Incidenias máximas anuales de roya y su relación con el % de sombra y la carga fructífera (datos de una encuesta conducida en Honduras sobre 73 parcelas; Avelino et al., 2004).





## Efecto de la sombra bajo condiciones de carga fructífera estandarizadas



Con carga de frutos similar, la sombra incrementó la incidencia de roya, y en un menor grado la severidad.

López Bravo et al., 2012  
(Turrialba, Costa Rica, 600 m)

J. Avelino

## Epidemiología Efecto de la sombra sobre el microclima

- Variaciones diarias de la temperatura (°C) de la hoja en función de la lluvia del día y de la sombra (57%; época de lluvias, 2009)



— Rango óptimo para la germinación e infección  
- - - Rango aceptable para el periodo de latencia

Grandes diferencias de temperatura; temperaturas más favorables a la roya bajo sombra



López Bravo et al., 2012 (Turrialba, Costa Rica, 600 m)

J. Avelino

## Epidemiología

### Efecto de la sombra sobre el microclima

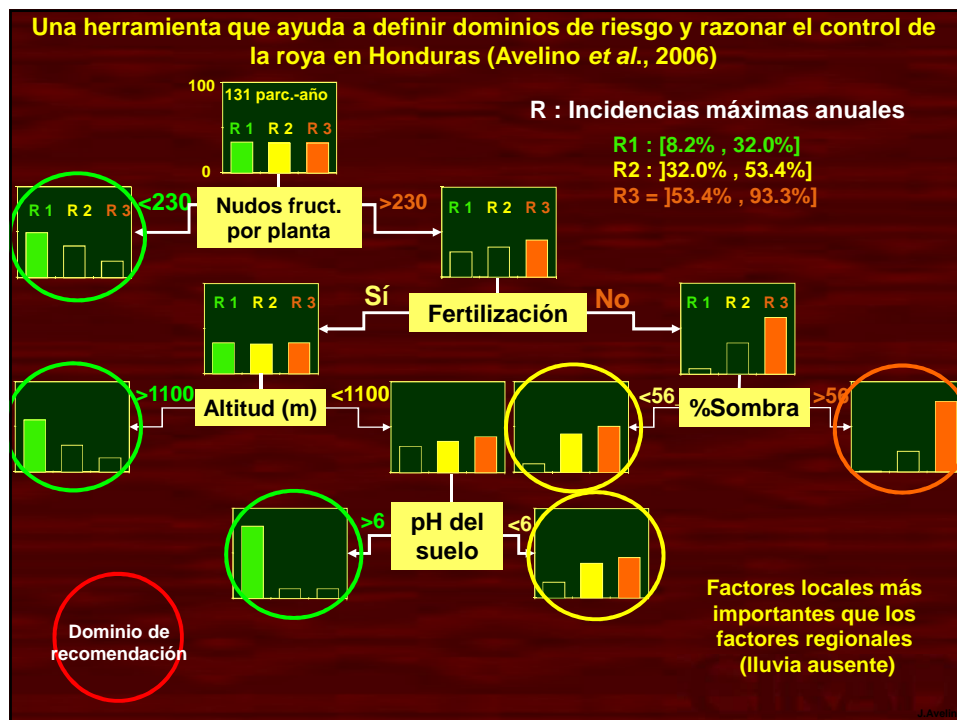
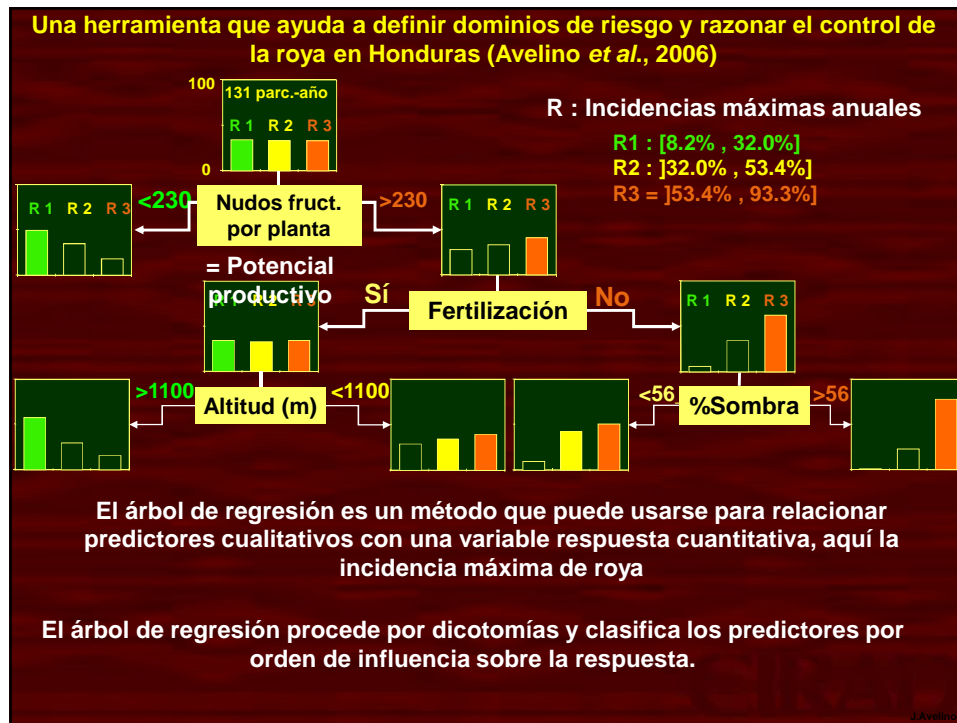
- Frecuencia de mojadura normalmente más alta bajo sombra  
 Por ejemplo, a medio día, días con lluvia < 5 mm, 2009 :  
 $65.6 \pm 4.6$  bajo sombra y  $11.2 \pm 3.3$  al sol (74 d.)
- Humedad relativa más alta bajo sombra  
 Por ejemplo, a medio día, días con lluvia < 5 mm, 2009 :  
 $78.1 \pm 1.0$  bajo sombra y  $69.0 \pm 1.0$  al sol (74 d.)
- Rocío  
 No hay rocío bajo sombra; el rocío es posible al sol

J. Avelino



## Modelos de pronóstico de la roya

Respuesta	Predictores	Método estadístico	País y referencia
Periodo de latencia	Promedio de temperaturas mínimas y máximas	Regresión	Kenia; Rayner, 1961 Brasil; Moraes <i>et al.</i> , 1976 Brasil; Kushalappa and Martins, 1980
Número de lesiones por hoja	Promedio de temperaturas mínimas y máximas; lluvia	Regresión	Brasil; Alfonsi <i>et al.</i> , 1974
Proporción de área foliar afectada	Inóculo cuantificado como la proporción de área foliar con lesiones y proporción de área foliar con esporas; lluvia	Regresión	Brasil; Kushalappa and Chaves, 1980
Tasa de crecimiento	Proporción de área foliar con esporas; proporción de hojas nuevas; promedio de temperaturas mínimas y máximas; lluvia	Regresión	Brasil; Kushalappa, 1981
Tasa de crecimiento	NSRMP (Net survival ratio for monocyclic process): parásito x hospedero x ambiente	Regresión	Brasil; Kushalappa <i>et al.</i> , 1984
Incidencia	Carga, fertilización, sombra, altitud, pH del suelo, número de hojas	Arbol de regresión	Honduras; Avelino <i>et al.</i> , 2006
Tasa de crecimiento	Carga, promedio de temperatura durante los periodos de mojadura; promedio de temperaturas máximas; humedad relativa	Árbol de regresión	Brasil; Meira <i>et al.</i> , 2008

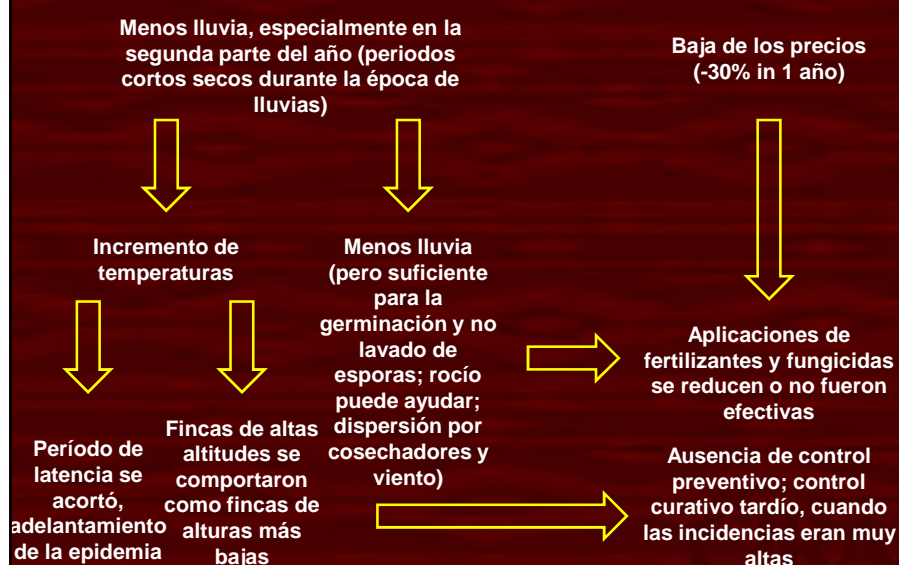


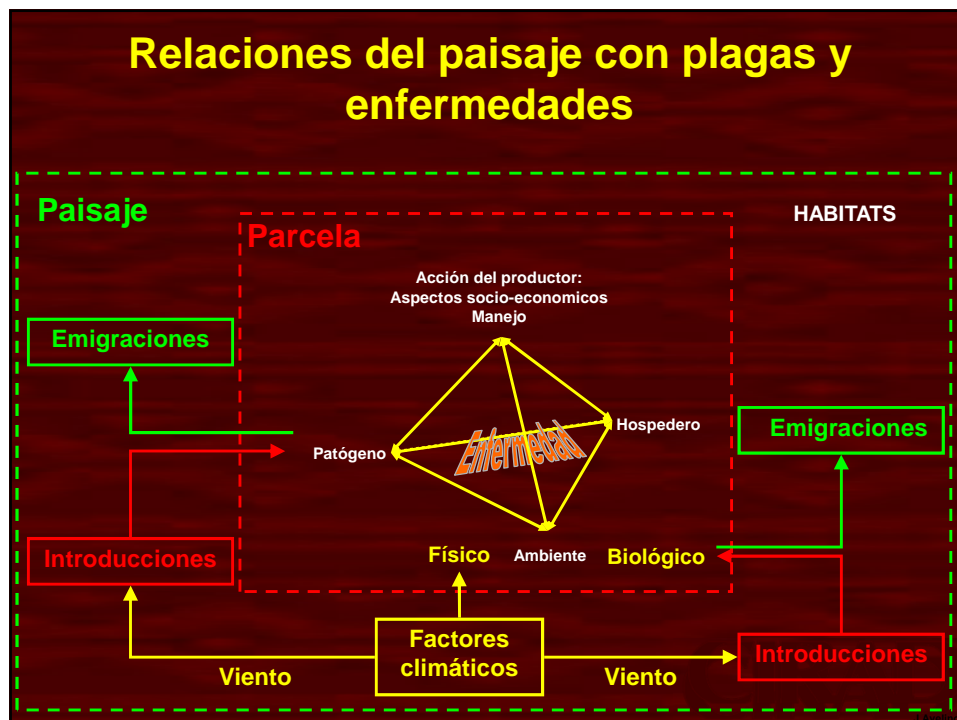
## Epidemiología: los factores más importantes para el progreso de la epidemia

- La carga fructífera
- El manejo: fertilización (crecimiento...edad de la planta, su vigor), manejo de la sombra
- El ambiente: altitud-temperatura, pluviometría-mojadura, calidad del suelo

⇒ Existen modelos que toman en cuenta solamente parte de estos factores, necesidad de integración más fuerte

## Qué pasó en América Central en 2012 ? Nuestras hipótesis principales







## Efecto del contexto paisajístico sobre la roya (Avelino *et al.*, 2012)

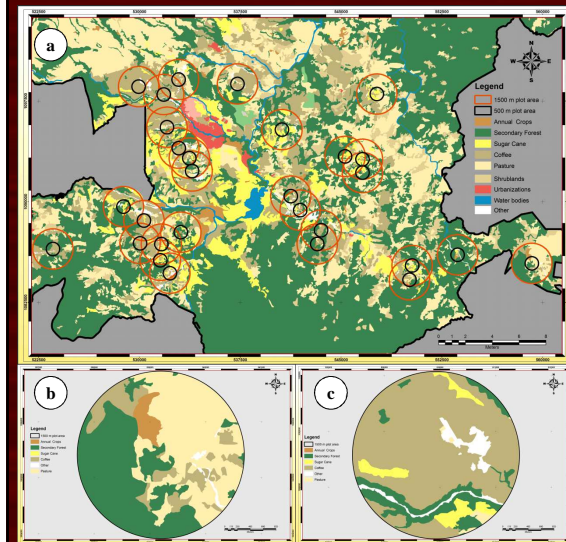
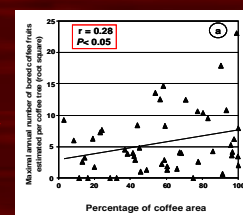
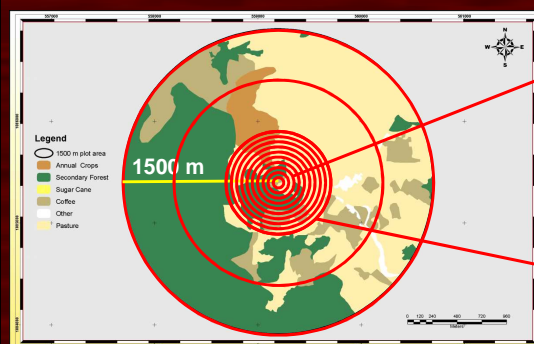


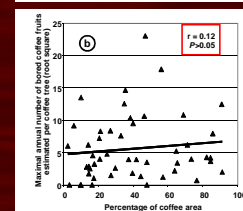
FIG. 1. Descripción del paisaje en discos de 500 y 1500 m de radio centrados en 29 parcelas de café (a), y ejemplo de dos paisajes con áreas de café muy fragmentadas (b) o muy compactas (c), Turrialba, Costa Rica, 2012.

## Efecto del contexto paisajístico sobre la roya (Avelino *et al.*, 2012)

Cálculo de las correlaciones entre la incidencia de plagas y enfermedades de café con la proporción de diferentes usos de suelo a diversas distancias de la parcela de café



150 m



500 m

## Efecto del contexto paisajístico sobre la roya (Avelino *et al.*, 2012)

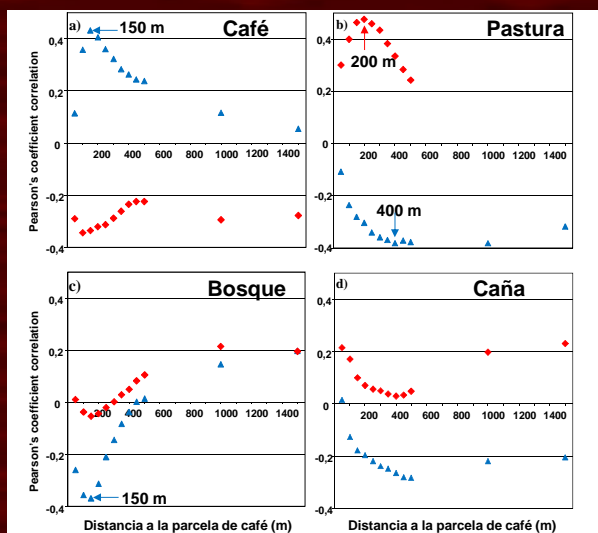


FIG. 2. Correlación de la incidencia máxima anual de roya (♦) y abundancia máxima anual de frutos brocados (▲), con el % de área con café (a) pastura (b) bosque (c) caña (d) a 12 escalas espaciales. Las flechas indican los picos significativos

- ➡ Más pasto en el paisaje, mayores turbulencias y mayor dispersión de la roya en grupos de esporas;
- ➡ La fragmentación con usos de suelo abiertos favorece la roya
- ➡ Fragmentar el paisaje con bosque

J. Avelino

## Sistema Regional de Alerta Temprana (SRAT)

### Objetivo:

Comunicar oportunamente al sector productivo del café y autoridades sobre el riesgo potencial de una amenaza fitosanitaria y sus respectivas acciones de intervención

El enfoque es regional y operativo a diferentes niveles (zona, país, local)

## Los indicadores del riesgo para un Sistema Regional de Alerta Temprana ?

Guatemala, Septiembre 2013



Muchas gracias

**CIRAD**

J. Avelino